



Получено: 20.05.2022 г. | Принято: 27.05.2022 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.186.194>

Научная статья

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНЫХ СИСТЕМ: ПЛЕНОК ЛИНЕЙНО-ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА, ЛЕГИРОВАННЫХ СЕРЕБРОМ

В.А.Казаков¹, к.т.н., доц., ORCID: 0000-0001-8974-2307 / cossac@mail.ru

А.В.Смирнов¹, инженер, ORCID: 0000-0003-2424-8142

А.В.Кокшина¹, ст. преп., ORCID: 0000-0001-8645-2822

Е.С.Тюнтеров¹, аспирант, ORCID: 0000-0002-8816-9737

В.С.Абруков¹, д.ф.-м.н., проф., зав. каф., ORCID: 0000-0002-4680-6224

Д.А.Ануфриева¹, аспирант, ORCID: 0000-0003-4860-3460

Аннотация. В работе описана технология синтеза и результаты исследования оптических свойств металлоуглеродных систем: пленок линейно-цепочечного углерода легированных серебром методами оптической спектродотометрии и спектроскопии эллипсометрии. Приводятся результаты моделирования и обобщения полученных данных с помощью искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: металлуглеродные наносистемы, линейно-цепочечный углерод, серебро, искусственные нейронные сети

Для цитирования: В.А. Казаков, А.В. Смирнов, А.В. Кокшина, Е.С. Тюнтеров, В.С. Абруков, Д.А. Ануфриева. Синтез и исследование оптических свойств гибридных металлоуглеродных систем: пленок линейно-цепочечного углерода, легированных серебром. НАНОИНДУСТРИЯ. 2022. Т. 15, № 3-4. С. 186-194. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.186.194>

Received: 20.05.2022 | Accepted: 27.05.2022 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.186.194>

Original paper

SYNTHESIS AND STUDY OF THE HYBRID METAL-CARBON SYSTEMS OPTICAL PROPERTIES: LINEAR-CHAIN CARBON FILMS DOPED WITH SILVER

V.A.Kazakov¹, Cand. of Sci. (Tech), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-8974-2307 / cossac@mail.ru

A.V.Smirnov¹, Engineer, ORCID: 0000-0003-2424-8142

A.V.Kokshina¹, Senior Lecturer, ORCID: 0000-0001-8645-2822

E.S.Tyunterov¹, Post Graduate, ORCID: 0000-0002-8816-9737

V.S.Abrukov¹, Doctor of Sci. (Physics and Mathematics), Prof., ORCID: 0000-0002-4680-6224

D.A.Anufrieva¹, Post-graduate, ORCID: 0000-0003-4860-3460

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия / Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia



Abstract. The paper describes the synthesis technology and the results of studying optical properties of metal-carbon systems: films of linear-chain carbon doped with silver with optical spectrophotometry and spectral ellipsometry. The results of modeling and generalization of the obtained data with the help of artificial neural networks are presented.

Keywords: metallocarbon nanosystems, linear-chain carbon, silver, artificial neural networks

For citation: V.A. Kazakov, A.V. Smirnov, A.V. Kokshina, E.S. Tyunterov, V.S. Abrukov, D.A. Anufrieva. Synthesis and study of the hybrid metal-carbon systems optical properties: linear-chain carbon films doped with silver. NANOINDUSTRY. 2022. V. 15, no. 3-4. PP. 186-194. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.186.194>

ВВЕДЕНИЕ

Синтез аллотропной формы углерода в состоянии sp^1 впервые был осуществлен в ИНЭОС АН СССР в 1959 году методом окислительной дегидрополиконденсации ацетиленов [1, 2]. По данным электронной микродифракции [2] были обнаружены две модификации карбина, названные а- и б-карбином. Параметры гексагональной ячейки были определены соответственно: $a_a = 5,08 \text{ \AA}$, $c_a = 7,80 \text{ \AA}$, $a_b = 4,76 \text{ \AA}$, $c_b = 2,58 \text{ \AA}$. Авторы предположили, что а-карбин – это полииновая форма углеродной цепочки $(-C\equiv C-C\equiv C-)_n$, а б-карбин – кумуленовая форма $(=C=C=C=)_n$. Продолжение исследований карбинов как природных, так и полученных синтетически, существенно расширило спектр возможных модификаций карбина, в частности, была создана устойчивая нанопленка карбина, обладающая уникальными физическими свойствами. Эта пленка получила название – пленка линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) – sp^1 -гибридизированного углерода. Важным направлением дальнейших работ стало создание технологий внедрения атомов металлов в пленку ЛЦУ [3-6]. Исследование структурных и оптических свойств наноматериалов, полученных при внедрении атомов металлов в пленку ЛЦУ, имеют важное фундаментальное и прикладное значение, поскольку полученные гибридные наносистемы могут представлять интерес в области медицины [3, 4], катализа, разработки новых наносенсоров, изделий нанoeлектроники [5-7]. Оптические свойства нанотолщинных пленок металлов и их наночастиц проявляются в появлении плазмонного эффекта. Для серебра этот эффект характерен в видимом диапазоне длин волн. При легировании углеродной матрицы серебром или отжиге серебряных пленок в результате диффузионных процессов и сил поверхностного натяжения при нагреве происходит изменение размеров наночастиц и кластеров. Кроме того, при формировании пленок и кластеров серебра различными

INTRODUCTION

Synthesis of the allotropic form of carbon in sp^1 state was firstly performed in INEOS RAS USSR in 1959 by oxidative dehydropolycondensation of acetylene [1, 2]. According to electron microdiffraction data [2] two modifications of carbin, named a- and b-carbin, were found. The hexagonal cell parameters were determined as $a_a = 5.08 \text{ \AA}$, $c_a = 7.80 \text{ \AA}$, $a_b = 4.76 \text{ \AA}$, $c_b = 2.58 \text{ \AA}$, respectively. The authors assumed that a-carbin is the polyene form of the carbon chain $(-C\equiv C-C\equiv C-)_n$, and b-carbin is the cumulene form $(=C=C=C=)_n$. Continued research of both natural and synthetically produced carbins has significantly expanded the range of possible modifications of carbin, in particular, a stable carbin nanofilm with unique physical properties has been obtained. This film has been named linear-chain carbon (LCC) film, or sp^1 hybridised carbon. An important area of further work was the development of technologies for introduction of metal atoms into the LCC film [3-6]. The study of structural and optical properties of nanomaterials obtained by the introduction of metal atoms into the LCC film is of great fundamental and applied importance, since the obtained hybrid nanosystems may be of interest in medicine [3, 4], catalysis and development of new nanosensors, nanoelectronics products [5-7]. Optical properties of nano-thick films of metals and their nanoparticles manifest themselves in appearance of a plasmon effect. For silver, this effect is characteristic in the visible wavelength range. When the carbon matrix is doped with silver or silver films are annealed as a result of diffusion processes and surface tension forces upon heating, the dimensions of nanoparticles and clusters change. In addition, during formation of silver films and clusters by different methods their size depends significantly on the synthesis parameters. For example, in thermoresistive sputtering the film growth takes place according to the cluster mechanism: the first stage is the formation of clusters and silver nanoparticles on the substrate, which are the nucleation

методами их размеры существенным образом зависят от параметров синтеза. Так, при терморезистивном напылении рост пленки происходит по кластерному механизму: на первом этапе образуются кластеры и наночастицы серебра на подложке, являющиеся центрами зародышеобразования пленки. При этом сама пленка не сплошная и прозрачная, поскольку состоит из отдельных наночастиц, а "толщина" пленки определяется размерами кластеров, либо рассчитывается эквивалентно, по изменению массы пленки. При отсутствии перекрытия между отдельными наночастицами ее электрическое сопротивление велико. С ростом толщины кластеры серебра увеличиваются в размерах, происходит их перекрытие, и пленка серебра становится сплошной, что проявляется в появлении электрической проводимости. Меняется механизм образования плазмонов (от частиц к пленке), что проявляется и в оптических свойствах.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент по внедрению серебра в пленку линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) строился следующим образом. В вакуумной установке УВР-3М при остаточном давлении около 10^{-2} Па на стеклянные подложки термическим испарением в вакууме наносили пленку серебра методом терморезистивного испарения толщинами 10÷100 нм. На часть образцов поверх серебра на модернизированной вакуумной ионно-плазменной установке "УРМ.3.279.070 Алмаз" синтезировали пленку ЛЦУ, по методике изложенной в [3]. Толщины измерялись методом атомно-силовой микроскопии, путем измерения ступеньки на границе стекло/пленка серебра. Толщина ЛЦУ определялась по количеству импульсов углеродной плазмы и составляла примерно 100 нм. Полученный двухслойный образец помещали в печь и отжигали при температуре 450 °С в среде воздуха. Отжиг проводился для стимулирования внедрения атомов серебра в ЛЦУ.

Спектры коэффициента пропускания пленок чистого серебра и металлоуглеродных пленочных материалов серебро-ЛЦУ, получаемых до и после отжига, исследовались на спектрофотометре Lambda-25.

Спектры диэлектрической проницаемости пленок чистого серебра (действительной и мнимой частей) исследовались на спектральном эллипсометре "Эллипс-1891".

Наличие или отсутствие электропроводности пленок подтверждалось на цифровом

centres of the film. The film itself is not continuous and transparent, as it is composed of individual nanoparticles, and the "thickness" of the film is determined by the cluster size or, calculated equivalently, by a change in the film mass. If there is no overlap of the individual nanoparticles, its electrical resistance is high. As the thickness increases, the silver clusters increase in size, their overlap occurs and silver film becomes solid, which manifests itself in the appearance of electrical conductivity. The mechanism of plasmons formation changes (from particles to film), which is manifested in optical properties as well.

RESEARCH METHODS

The experiment on silver embedding into the film of linear-chain carbon (LCC) was constructed as follows. In UVR-3M vacuum apparatus at a residual pressure of about 10^{-2} Pa a 10÷100 nm thick silver film was deposited on glass substrates by thermo-resistive evaporation in vacuum. On the part of samples, a LCC film was synthesized on top of silver in the upgraded vacuum ion-plasma unit "URM.3.279.070 Almaz" using the method described in [3]. Thicknesses were measured by atomic force microscopy, by measuring a step at the glass/silver film interface. Thickness of the LCC was determined by the number of pulses of carbon plasma and equaled approximately 100 nm. The resulting bilayer sample was placed in a furnace and annealed in air at 450 °C. Annealing was carried out to stimulate the introduction of silver atoms into the LCC.

The transmission coefficient spectra of pure silver films and silver-LCC metal films obtained before and after annealing were studied with a Lambda-25 spectrophotometer.

The dielectric permittivity spectra of pure silver films (real and imaginary parts) were examined on an Ellips-1891 spectral ellipsometer.

Presence or absence of electrical conductivity of the films was confirmed on a Keythley 2400 series digital programmable multimeter.

RESULTS

For silver films sprayed on a glass substrate (or quartz glass), at different thicknesses of the sprayed silver layer, the optical transmission spectra are as shown in Fig.1.

For continuous (completely covering the substrate, low surface roughness), thin (up to 200 nm thickness), transparent, electrically conductive silver films, without annealing, the maximum transmittance is observed at a wavelength of 322 nm (Fig.1, red spectrum).

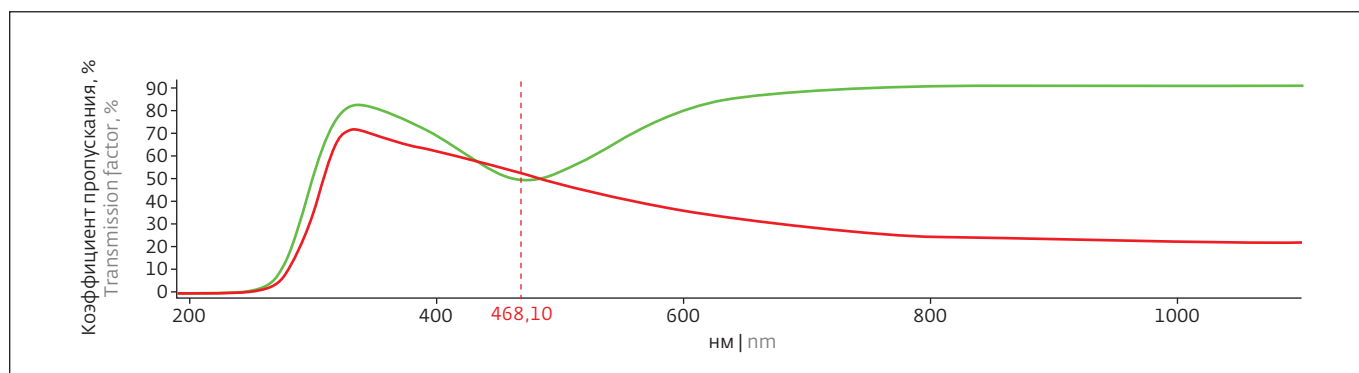


Рис.1. Спектры пропускания пленок серебра: зеленый спектр – островковая, толщина до 70 нм, прозрачная, не электропроводящая пленка после отжига, красный спектр – сплошная, толщина до 200 нм, прозрачная, электропроводящая пленка без отжига
Fig.1. Transmission spectra of silver films: green spectrum – islet, thickness up to 70 nm, transparent, non-conductive film after annealing, red spectrum – continuous, thickness up to 200 nm, transparent, electrically conductive film without annealing

программируемом мультиметре Keythley серии 2400.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для пленок серебра, напыленных на стеклянную подложку (или кварцевое стекло), при различных толщинах напыленного слоя серебра оптические спектры пропускания имеют вид, показанный на рис.1.

Для сплошных (полностью покрывающие подложку, шероховатость поверхности небольшая), тонких (толщина до 200 нм), прозрачных электропроводящих пленок серебра, без отжига, максимум коэффициента пропускания наблюдается на длине волны 322 нм (рис.1 – красный спектр).

Для островковых (не полностью покрывающие подложку, большая шероховатость поверхности с образованием отдельных кластеров серебра на поверхности подложки), тонких (толщина до 70 нм), прозрачных не электропроводящих пленок серебра, с отжигом в среде воздуха, кроме более высокого значения максимума коэффициента пропускания на длине волны 322 нм, наблюдается широкая полоса экстинкции с центром в области 468 нм (рис.1 – зеленый спектр). После отжига, в результате процессов диффузии и воздействия сил поверхностного натяжения, происходит перестроение пленки, сплошность нарушается, пленка становится островковой, появляется поверхностное плазмонное поглощение [13]. При этом центр полосы поглощения определяет размер наночастиц серебра [9].

Для той же, что и на рис.1, островковой пленки серебра (зеленый спектр), на рис.2 приведены спектры значений

For islets (not completely covering the substrate, large surface roughness with the formation of individual silver clusters on the surface of the substrate), thin (up to 70 nm thick), transparent non-conductive silver films, annealed in air, besides a higher maximum transmittance at 322 nm, a wide extinction band with a centre at 468 nm is observed (Fig.1, green spectrum). After annealing, as a result of diffusion processes and surface tension forces, the film is rearranged, the continuity is broken, the film becomes islet-like and surface plasmonic absorption appears [13]. The centre of the absorption band determines the size of silver nanoparticles [9].

For the same silver islet film (green spectrum) as in Fig.1, Fig.2 shows the spectra of the real and imaginary parts of the dielectric permittivity of the film: ϵ_{ps1} and ϵ_{ps2} (by definition, the dielectric permittivity $\epsilon_{ps} = \epsilon_{ps1} + i\epsilon_{ps2}$).

As can be seen from Fig.2, starting with an energy of 3.8 eV (322 nm) there is a step change both in the dielectric constant and in the correspondingly dependent values of the refractive index and extinction. This frequency corresponds to the plasmonic frequency, i.e., the light with a frequency below the plasma frequency is reflected because electrons in the metal shield the electric field in a the light electromagnetic wave. The light with a frequency above the plasma frequency passes through because the electrons cannot respond fast enough to shield it. It is the bulk plasmons that explain the transparency window (Fig.3) with a maximum at a wavelength of 322 nm [9].

Figure 4 shows transmission spectra for 60 nm thick silver film systems with the applied 100 nm LCC film. The grey line corresponds to the system



действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости пленки: ϵ_{ps1} и ϵ_{ps2} (по определению, диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{ps} = \epsilon_{ps1} + i \epsilon_{ps2}$).

Как видно из рис.2, начиная с энергий 3,8 эВ (322 нм) наблюдается скачкообразное изменение как значений диэлектрической проницаемости, так и соответственно зависящих от них значений коэффициента преломления и экстинкции. Эта частота соответствует частоте объемных плазмонных колебаний, то есть свет с частотой ниже плазменной частоты отражается, потому что электроны в металле экранируют электрическое поле в световой электромагнитной волне. Свет с частотой выше плазменной частоты проходит, потому что электроны не могут достаточно быстро ответить, чтобы экранировать его. Именно объемными плазмонами и объясняется окно прозрачности (рис.3) с максимумом на длине волны, равной 322 нм [9].

На рис.4 представлены спектры пропускания для систем пленка серебра толщиной 60 нм с нанесенной пленкой ЛЦУ толщиной 100 нм. Серая линия соответствует системе до отжига, черная линия – после отжига в среде воздуха.

Как видно из рис.4, в системе серебро – ЛЦУ после отжига произошли существенные изменения спектра пропускания. Помимо увеличения коэффициента пропускания практически во всем диапазоне длин волн и максимума прозрачности на длине волны 322 нм, появилась выраженная полоса поглощения с центром в области ~420 нм.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показывают следующее:

1. Нанопленки серебра имеют максимум коэффициента пропускания на длине волны 322 нм.
2. Отжиг пленок серебра и систем серебро – ЛЦУ приводит к увеличению коэффициента пропускания в области спектра с центром на длине волны 322 нм.
3. Отжиг пленок серебра и систем серебро – ЛЦУ приводит к появлению полосы поглощения с центром в области ~420 нм, характерной для поверхностного плазмонного поглощения серебра.

Таким образом, при термическом отжиге пленки серебра с ЛЦУ наблюдается перестроение островковой пленки серебра, сопровождающееся увеличением размеров кластеров серебра, что отражается на спектрах пропускания. Этот процесс сопровождается внедрением кластеров и наночастиц в структуру

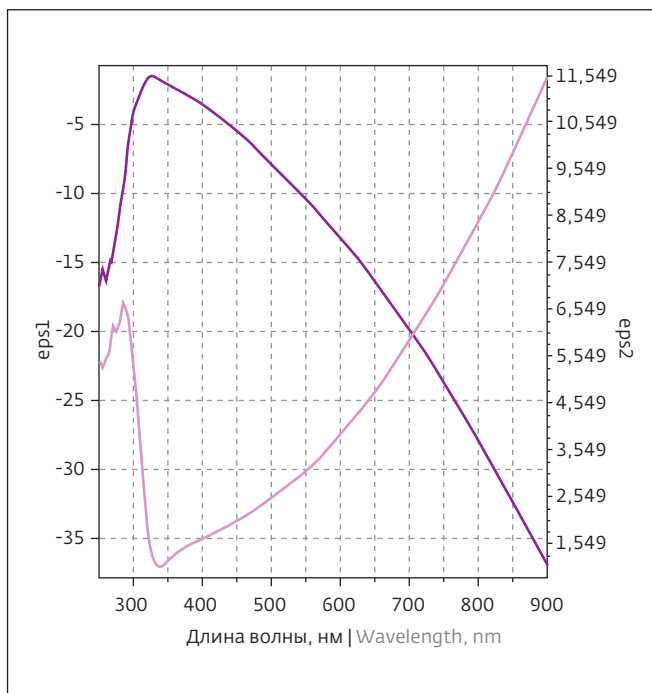


Рис.2. Спектры действительной (ϵ_{ps1} , толстая линия) и мнимой (ϵ_{ps2} , тонкая линия) частей диэлектрической проницаемости островковой, прозрачной, не электропроводящей пленки после отжига (этой пленке на рис.1 соответствует зеленый спектр)

Fig.2. Spectra of the real (ϵ_{ps1} , thick line) and imaginary (ϵ_{ps2} , thin line) parts of the permittivity of an islet, transparent, non-conductive film after annealing (the green spectrum corresponds to this film in Fig.1)

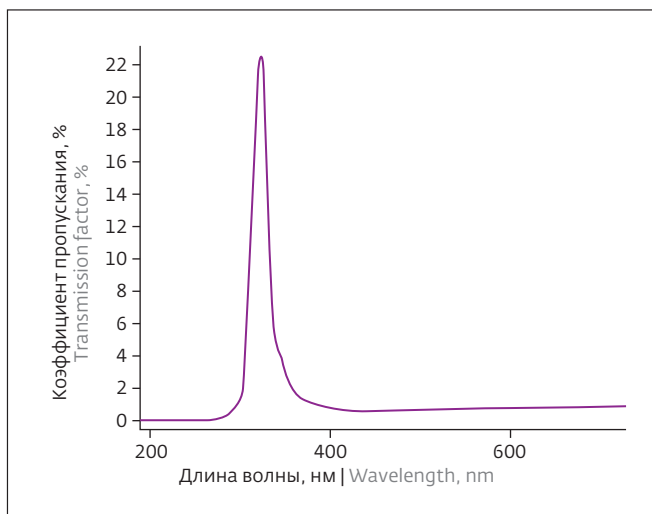


Рис.3. Спектр сплошной, "толстой", непрозрачной, электропроводящей двухслойной пленки серебра толщиной 250 нм и пленки ЛЦУ толщиной 200 нм

Fig.3. Spectrum of continuous, "thick", opaque, electrically conductive two-layer silver film with a thickness of 250 nm and an LCC film with a thickness of 200 nm

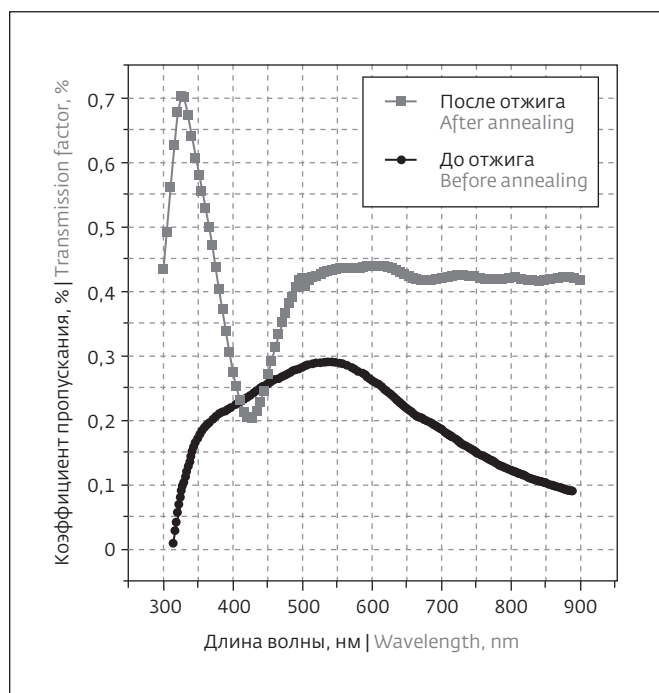


Рис. 4. Спектр пропускания систем серебро – ЛЦУ до отжига (черная линия) и после отжига (серая линия)

Fig. 4. Transmission spectra of silver-LCC systems before annealing (black line) and after annealing (gray line)

ЛЦУ. Известно, что при прямом взаимодействии углерода с серебром не образуется химического соединения между указанными элементами. Полученная в работе [10] электроннограмма и данные атомно-силовой микроскопии [11] дают основание утверждать, что, несмотря на изменения поверхностной структуры пленки, связанной с переносом вещества, гексагональная структура ЛЦУ не разрушилась при интеркалировании, поскольку наблюдаются шесть рефлексов, характерных для пленок ЛЦУ.

ОБСУЖДЕНИЕ

С целью обобщения всех полученных экспериментальных данных (не только тех, что описаны выше) с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) был создан комплекс многофакторных вычислительных моделей. Основы ИНС и методы использования ИНС для моделирования экспериментальных данных представлены и описаны в [14–17]. Для создания моделей использовались нейронные сети, включенные в аналитическую платформу Deductor Academic 5.3 Build 0.88 (www.basegroup.ru). Использовались нейронные сети прямого распространения (feed forward neural networks) с одним входным слоем (число нейронов

before annealing and the black line to the system after annealing in air.

As can be seen from Fig. 4, in the silver-LCC system after annealing there were significant changes in the transmittance spectrum. In addition to an increase in transmittance over almost the entire wavelength range and a maximum of transparency at 322 nm, a pronounced absorption band centered at ~420 nm appeared.

Thus, the obtained experimental results show the following:

1. Silver nanofilms have a maximum transmittance at 322 nm;
2. Annealing of silver films and silver-LCC systems leads to an increase of transmittance in the spectral region centered at 322 nm;
3. Annealing of silver films and silver-LCC systems leads to appearance of absorption band centered at ~420 nm, which is typical for surface plasmonic absorption of silver.

Thus, during thermal annealing of a silver film with LCC there is a rearrangement of silver islet-like film accompanied by an increase in the size of silver clusters, which is reflected in the transmission spectra. This process is accompanied by introduction of clusters and nanoparticles into the LCC structure. It is known that direct interaction of carbon with silver does not form a chemical compound between these elements. The electro-nogram obtained in [10] and atomic force microscopy data [11] suggest that despite the changes in the surface structure of the film associated with the substance transfer, the hexagonal structure of LCC has not been destroyed during intercalation, as six reflexes characteristic of LCC films are observed.

DISCUSSIONS

In order to summarize all the obtained experimental data (not only those described above), a set of multifactor computational models has been created using artificial neural networks (ANNs). The basics of ANNs and methods of using ANNs for simulating the experimental data have been presented and described in [14–17]. Neural networks included in the Deductor Academic 5.3 Build 0.88 analytics platform (www.basegroup.ru) were used to create the models. We used feed forward neural networks with one input layer (the number of neurons was determined by the number of factors), one hidden layer with different number of hidden neurons (from 5 to 8), and a single output layer (with one neuron). The target functions of the models were: transparency coefficient and imaginary and real parts of dielectric constant. The factors of the



определялось числом факторов), одним внутренним (hidden) слоем с разным числом скрытых нейронов (от 5 до 8), одним выходным слоем (с одним нейроном). Целевыми функциями моделей являлись коэффициент прозрачности, мнимая и действительная части диэлектрической проницаемости. Факторами моделей были: длина волны света, поверхностная структура пленки серебра (сплошная или островковая), толщина пленки серебра, толщина пленки ЛЦУ, электропроводность (да, нет), проведение отжига пленок (да, нет). Полученные модели представляли собой своеобразные (полученные в процессе обучения нейронных сетей) калькуляторы (вычислительные структуры), позволяющие для любого набора значений факторов определять целевую функцию конкретной модели.

Кроме модели калькулятора были также созданы вычислительные модели определения действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости различных пленок серебра через параметры пленок, а также вычислительная модель связи коэффициента прозрачности и диэлектрической проницаемости (действительной и мнимой части) для различных пленок, полученных с помощью различных технологий синтеза.

Таким образом полученные вычислительные нейросетевые модели соответствуют полученным экспериментальным данным. Величина среднеквадратичной ошибки определяется в аналитической платформе Deductor Academic в процессе обучения ИНС, одновременно, для обучающей и тестовой выборки экспериментальных данных [18]. Результаты вычислений для самых различных комбинаций значений факторов находятся в хорошем соответствии с результатами проведенных экспериментов.

ВЫВОДЫ

Проведены подробные оптические исследования пленок серебра и гибридных металл-углеродных систем серебро – ЛЦУ. Полученные результаты позволили выявить особенности спектров пропускания и диэлектрической проницаемости. Показано сильное влияние отжига на спектры. С помощью искусственных нейронных сетей созданы многофакторные вычислительные модели полученных спектров.

Авторы рассматривают применение ИНС для моделирования экспериментальных данных и создания многофакторных вычислительных моделей как очень перспективный путь обобщения результатов эксперимента.

models were: a light wavelength, surface structure of the silver film (solid or insular), thickness of the silver film, thickness of the LCC film, electrical conductivity (yes, no) and annealing of the films (yes, no). The obtained models were peculiar (obtained in the process of neural networks training) calculators (computational structures), allowing to determine the target function of a particular model for any set of factors values.

In addition to the calculator model the developed computational models determine the real and imaginary parts of the dielectric constant of different silver films through film parameters, as well as a computational model showing the relation between transparency coefficient and dielectric constant (real and imaginary parts) for different films produced by different synthesis techniques were also created.

Thus, the obtained computational neural network models correspond to the obtained experimental data. The value of the RMS error is determined with the aid of the analytical platform Deductor Academic in the process of ANN training, simultaneously for the training and test sample of the experimental data [18]. Calculation results for the most different combinations of factor values are in good agreement with the experimental results.

CONCLUSIONS

Detailed optical studies of silver films and silver-LCC hybrid metal-carbon systems have been carried out. The obtained results enabled to highlight the peculiarities of transmission and dielectric permittivity spectra. Strong influence of annealing on the spectra has been demonstrated. The artificial neural networks helped to develop the multifactorial computational models of the obtained spectra.

The authors see the use of ANNs in modelling experimental data and creating multivariate computational models as a very promising way to generalize the experimental results.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

20-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

ChipEXPO-2022

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



13-15.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- ✓ Предприятия радиоэлектронной промышленности России
- ✓ Поставщики электронных компонентов
- ✓ Участники конкурса "Золотой Чип"
- ✓ Новинки производителей электроники
- ✓ Стартапы в электронике (стенд Инновационного центра Сколково)
- ✓ Дизайн-центры электроники

ОФИЦИАЛЬНАЯ
ПОДДЕРЖКА:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО», 111141, Москва, Зеленый пр-т, д.2
Тел.: +7 (495) 221-50-15, E-mail: info@chipexpo.ru
<http://www.chipexpo.ru>



ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Heimann R.B., Kleiman J.I., Salansky N.M. Nature Lett. 306, 164 (1983).
2. Heimann R.B., Evsyukov S.E., Kavan L. Dordrecht. Carbyne and Carbynoid Structures. 1999.
3. Александров А.Ф., Гусева М.Б., Корнеева Ю.В., Новиков Н.Д., Хвостов В.В. Результаты и перспективы применения биосовместимых форм линейно-цепочечного углерода в медицине // Интеграл. 2011. № 4. С. 28-33.
4. Тапальский Д.В., Николаев Н.С., Овсянkin А.В., Кочаков В.Д., Головина Е.А., Матвеевков М.В., Сухорукова М.В., Козлов Р.С. Покрытия на основе двумерно упорядоченного линейно-цепочечного углерода для защиты титановых имплантатов от микробной колонизации // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25. № 2. С. 111-120.
5. Васильев А.И., Смирнов А.В., Кочаков В.Д. Фотоактивные элементы электроники на основе линейно-цепочечного углерода. Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2012. № 4 (76). С. 43-46.
6. Кочаков В.Д., Васильев А.И., Смирнов А.В. Датчик влажности. Патент на изобретение RU 2647168 С2, 14.03.2018. Заявка № 2016129668 от 19.07.2016.
7. Kokshina A.V., Kochakov V.D., Vasilyeva O.V. Influence of carbon in the sp¹ state on the Schottky transition Si-Cd. Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 012229.
8. Maier S.A. Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer, 2007.
9. Смирнов А.В., Гималдинов Д.В. Перспективы создания фотодетектирующих устройств на основе плазмонного резонанса на кластерах серебра. Сборник материалов победителей и призеров XXI республиканского конкурса научно-исследовательских работ студентов, молодых ученых и специалистов "Наука XXI века" Чебоксары-2013.
10. Васильев А.И., Кочаков В.Д. Влияние отжига на физические свойства металлоуглеродных пленок. Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 189-192.
11. Кочаков В.Д., Смирнов А.В., Васильев А.И., Кокшина А.В., Краснова А.Г. Особенности взаимодействия атомов серебра с пленкой линейно-цепочечного углерода. "Альтернативная энергетика и экология". № 17. 2014. С. 78-83.
12. Kreibig U., Vollmer M. Optical properties of metal clusters. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 532 p.
13. Jiang T. et al. Tunable Ag surface-plasmon-resonance wavelength and its application on the photochromic behavior of TiO₂-Ag films. Superlattices and Microstructures. V. 46. Issues 1-2, July-August 2009. PP. 159-165.
14. Abrukov V.S., Karlovich E.V., Afanasyev V.N., Semenov Y.V., Abrukov S.V. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools. International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. V. 9. № 5. PP. 385-396.
15. Abrukov V., Lukin A., Anufrieva D., Oommen C., Sanalkumar V., Chandrasekaran N., Bharath R. Recent Advancements in Study of Effects of Nano Micro Additives on Solid Propellants Combustion by Means of the Data Science Methods. Defence Science Journal. 2019. 69(1). PP. 20-26.
16. Chandrasekaran N., Oommen C., Sanalkumar V.R., Abrukov V.S., Lukin A.N., Anufrieva D.A. Prediction of Detonation Velocity and N-O Composition of High Energy C-H-N-O Explosives by Means of the Data Science Methods. Prop., Explos., Pyrotech. 2019. V. 44. № 5. PP. 579-587.
17. Mariappan A., Choi H., Abrukov V.S., Anufrieva D.A., Lukin A.N., Sankar V., Sanalkumar V.R. The Application of Energetic Materials Genome Approach for Development of the Solid Propellants Through the Space Debris Recycling at the Space Platform. Proceedings of the Conference: "AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum" AIAA 2020-3898. <https://doi.org/10.2514/6.2020-3898>
18. Abrukov V.S., Anufrieva D.A., Sanalkumar V.R., Mariappan A. Multifactor Computational Models of the Effect of Catalysts on the Combustion of Ballistic Powders (experimental results of Denisjuk team) Direct Tasks, Virtual Experiments and Inverse Problems. 2020. 1-20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36521.01125>

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

31.10–03.11.2022

www.chemistry-expo.ru



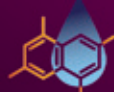
25-я юбилейная
международная
выставка химической
промышленности
и науки

ХИМИЯ

КНІМІА



**Иновации
и современные
материалы**



Нефтегазохимия



Startup ChemZone



**Автоматизация
и цифровизация
производства**



Химмаш. Насосы



Хим-Лаб-Аналит



Зеленая химия



Индустрия пластмасс



**Защита от коррозии
«КОРРУС»**

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- ФГУП «НПЦ «Химвест»
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»
- Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
- Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор

12+

Реклама

